

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-283049

(43)Date of publication of application : 03.10.2003

(51)Int.Cl.

H01S 5/125

(21)Application number : 2002-079355

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 20.03.2002

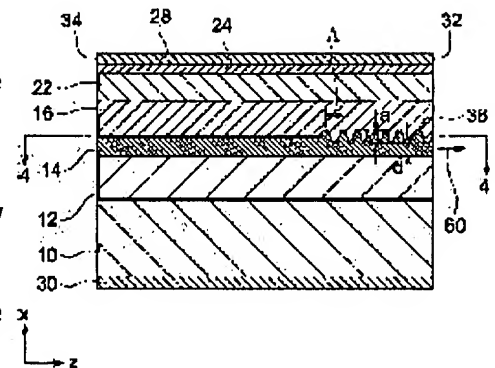
(72)Inventor : MIKI ATSUSHI

## (54) SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor laser element suitable for the forward direction excitation light source of a Raman amplifier.

**SOLUTION:** The semiconductor laser element 100 is provided with an active layer 45 of a multiplex quantum well structure, separation closing heterodyne structure (SCH) layers 42, 44, 50, 52 which are provided above and below the active layer 45. A clad layer 16 is provided on the upper surface of the SCH layer 52. A diffraction grid 35 is provided in the interface between the SCH layer 52 and the clad layer 16 along only one part of length of the active layer. The diffraction grid 36 is provided at only the vicinity of front end surface of the laser element 100. The diffraction grid 36 is provided with a period, continuously changed along the lengthwise direction of the same. According to this constitution, multimode oscillation can be achieved. When the range of the periodic change is set properly, a sufficiently narrow luminous spectrum width is obtained.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-283049

(P2003-283049A)

(43)公開日 平成15年10月3日(2003.10.3)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 S 5/125

識別記号

F I

H 0 1 S 5/125

データベース\*(参考)

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2002-79355(P2002-79355)

(22)出願日 平成14年3月20日(2002.3.20)

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 三木 淳

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74)代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

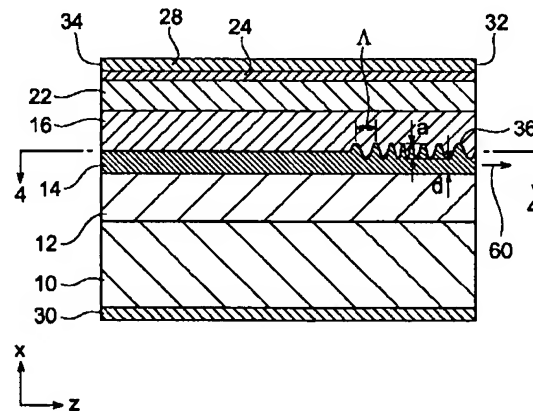
Fターム(参考) 5F073 AA65 AA74 AA83 CA12 EA01

(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57)【要約】

【課題】 ラマンアンプの順方向励起光源に適した半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 本発明の半導体レーザ素子100は、多重量子井戸構造の活性層45と、その上下に設けられた分離閉じ込めヘテロ構造(SCH)層42、44、50、52を備えている。最も上に位置するSCH層52の上面にはクラッド層16が設けられている。SCH層52とクラッド層16との界面には、活性層の長さの一部分のみに沿って、回折格子36が設けられている。回折格子36は、レーザ素子100の前端面の付近にのみ設けられる。回折格子36は、長手方向に沿って連続的に変化する周期を有している。これによりマルチモード発振が達成される。周期変化の範囲を適切に設定すれば、十分に狭い発光スペクトラム幅が得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の導電型の半導体からなる基板と、前記基板の上面側に設けられ、第 1 導電型の半導体からなる下部クラッド層と、前記下部クラッド層の上に設けられた下部分離閉じ込めヘテロ構造層と、前記下部分離閉じ込めヘテロ構造層の上に設けられ、多重量子井戸構造を有する活性層と、前記活性層の上に設けられた上部分離閉じ込めヘテロ構造層と、前記上部分離閉じ込めヘテロ構造層の上面に被着され、前記第 1 導電型と異なる第 2 の導電型の半導体からなる上部クラッド層と、前記上部クラッド層の上に設けられた上部電極と、前記基板の下面側に設けられた下部電極と、無反射コートが施された前端面と、前記前端面に対向し、高反射コートが施された後端面と、を備え、前記上部分離閉じ込めヘテロ構造層と前記上部クラッド層との界面には、前記活性層の長さの一部分のみに沿って回折格子が設けられており、前記回折格子は、前記前端面の付近にのみ設けられており、前記回折格子は、その長手方向に沿って連続的に変化する周期を有しており、発振縦モードが 2 本以上の発光スペクトラムを有する半導体レーザ素子。

【請求項 2】 前記回折格子は、前記発振縦モードの波長の光に対して、前記前端面の反射率よりも高い反射率を有している請求項 1 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記基板、下部クラッド層および上部クラッド層は InP から構成され、前記下部分離閉じ込めヘテロ構造層、活性層、および上部分離閉じ込めヘテロ構造層は InGaAsP から構成されている請求項 1 記載の半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ素子に関し、特に、ラマンアンプの励起光源に適した半導体レーザ素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ラマンアンプの励起光源としては、外部グレーティング共振器型の半導体レーザが知られている。これは、ファブリペロー (FP) 型レーザの一方のファセットを無反射コーティングし、他方のファセットと FP 型レーザの外部に配置されたグレーティング (回折格子) とで外部共振器を構成するレーザである。最近では、外部グレーティングとして、ファイバブラッググレーティング (FBG) がしばしば使用されている。このような外部 FBG 共振器型レーザには、波長選択性が

よいという利点がある。また、外部 FBG 共振器型レーザには、FP 型レーザに比べて発振波長の電流依存性・温度依存性が小さいという利点もある。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】ラマンアンプの高性能化のためには、信号光に対して順方向と逆方向の双方から励起光を加える双方向励起方式が望ましい。順方向励起では、励起光源の雑音特性が信号光に強く影響する。したがって、相対雑音強度 (RIN) の極めて低い励起光源が必要となる。外部 FBG 共振器型レーザは、優れた波長安定性を有するが、ラマンアンプの順方向励起に十分なほど RIN を低くすることは難しい。実際、そのような低 RIN の外部 FBG 共振器型レーザは、いまだ実現されていない。

【0004】そこで、本発明は、ラマンアンプの順方向励起に適した半導体レーザ素子の提供を課題とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザ素子は、(a) 第 1 の導電型の半導体からなる基板と、(b) 基板の上面側に設けられ、第 1 導電型の半導体からなる下部クラッド層と、(c) 下部クラッド層の上に設けられた下部分離閉じ込めヘテロ構造層と、(d) 下部分離閉じ込めヘテロ構造層の上に設けられ、多重量子井戸構造を有する活性層と、(e) 活性層の上に設けられた上部分離閉じ込めヘテロ構造層と、(f) 上部分離閉じ込めヘテロ構造層の上面に被着され、第 1 導電型と異なる第 2 の導電型の半導体からなる上部クラッド層と、(g) 上部クラッド層の上に設けられた上部電極と、(h) 基板の下面側に設けられた下部電極と、(i) 無反射コートが施された前端面と、(j) 前端面に対向し、高反射コートが施された後端面とを備えている。上部分離閉じ込めヘテロ構造層と上部クラッド層との界面には、活性層の長さの一部分のみに沿って回折格子が設けられている。この回折格子は、前端面の付近にのみ設けられている。この回折格子は、その長手方向に沿って連続的に変化する周期を有している。本発明の半導体レーザ素子は、発振縦モードが 2 本以上の発光スペクトラムを有している。

【0006】回折格子の周期の各値は、長手方向の少なくとも二つの位置で現れてもよい。つまり、同じ周期が繰り返し現れてもよい。回折格子は、発振縦モードの波長の光に対して、前端面の反射率よりも高い反射率を有していてもよい。基板、下部クラッド層および上部クラッド層が InP から構成され、下部分離閉じ込めヘテロ構造層、活性層、および上部分離閉じ込めヘテロ構造層が InGaAsP から構成されていてもよい。下部分離閉じ込めヘテロ構造層、活性層、および上部分離閉じ込めヘテロ構造層はメサ構造を有していてもよい。

## 【0007】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を説明する前

に、本発明の概要を説明する。

【0008】分布帰還型(DFB)半導体レーザは、波長安定性が高く、RINが低いという特性を有している。この点は、ラマンアンプの順方向励起光源に適している。しかし、既存のDFBレーザをラマンアンプの励起光源として実際に使用すると、十分な励起光パワーを維持できない。これは、DFBレーザ光が光ファイバの内部でブリュアン散乱を起こすからである。

【0009】DFBレーザ光のブリュアン散乱が顕著なのは、DFBレーザがシングルモード発振(縦単一モード発振)するからである。そこで、本発明者は、DFBレーザと同じように回折格子を有し、それでいてマルチモード発振(縦多モード発振)をする半導体レーザ素子を考案した。これが、本発明の半導体レーザ素子である。

【0010】本発明者は、既存のDFBレーザと同様の構造を有する半導体レーザ素子であっても、長手方向に沿って周期が連続的に変化する回折格子を有するものはマルチモード発振しうることを見出した。さらに、本発明者は、その回折格子を無反射コートされた前端面の付近にのみ設けると好適であることを見出した。回折格子の周期変化の範囲を適切に設定すれば、マルチモードではあるがスペクトラム幅の十分に狭いレーザ光が生成される。また、DFBレーザと同様に、波長安定性が高く、RINが低い。マルチモード発振するから、光ファイバ内のブリュアン散乱も抑えられる。したがって、本発明の半導体レーザ素子は、ラマンアンプの励起光源として好適である。

【0011】以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、図示の便宜上、図面の寸法比率は説明のものと必ずしも一致しない。

【0012】図1は、本実施形態の半導体レーザ素子100の構造を示す斜視図である。半導体レーザ素子100は、基板10の上面に順次に被着された下部クラッド層12、多重量子井戸-分離閉じ込め構造(MQW-SCH)層14、および第1上部クラッド層16を備えている。これらは、いずれもメサ型の半導体層である。基板10および下部クラッド層12は、いずれもn-InPから構成されている。MQW-SCH層14は、4元化合物半導体のInGaAsPから構成されている。第1上部クラッド層16は、p-InPから構成されている。

【0013】下部クラッド層12、MQW-SCH層14、および第1上部クラッド層16の両側面は、埋め込み層18によって覆われている。埋め込み層18はp-InPから構成されている。埋め込み層18の上には、電流ブロック層20が設けられている。電流ブロック層20は、n-InPから構成されている。第1上部クラ

ッド層16、埋め込み層18、および電流ブロック層20の上には、第2上部クラッド層22が被着されている。第2上部クラッド層22は、p-InPから構成されている。このように、n型の電流ブロック層20が、p型の第2上部クラッド層22とp型の埋め込み層18との間に介在している。

【0014】第2上部クラッド層22の上面には、コンタクト層24が被着されている。コンタクト層24は、p-InGaAsから構成されている。コンタクト層24の上面には、上部電極層28が被着されている。基板10の下面には、下部電極層30が被着されている。コンタクト層24に隣接する第2上部クラッド層22は、第1上部クラッド層16よりも高いp型導電性を有していてもよい。下部電極層30に隣接する基板10は、下部クラッド層12よりも高いn型導電性を有していてもよい。

【0015】第1上部クラッド層16、第2上部クラッド層22および下部クラッド層12は、MQW-SCH層14で発生した光をMQW-SCH層14内に閉じ込めるためのものである。したがって、これらのクラッド層は、MQW-SCH層14よりも低い屈折率を有している。

【0016】以下では、図2を参照しながら、MQW-SCH層14の構造を詳細に説明する。図2は、MQW-SCH層14のバンドギャップ波長の分布を示す図である。図2において、縦軸(x)は半導体レーザ素子100の垂直方向(厚さ方向)距離を示し、横軸( $\lambda$ )はバンドギャップ波長を示している。

【0017】図2に示されるように、MQW-SCH層14は、下部クラッド層12から第1上部クラッド層16へ向かって、第1SCH層42、第2SCH層44、活性層45、第3SCH層50および第4SCH層52が順次に積層された多層半導体である。各層は、4元化合物半導体のInGaAsPで構成されている。

【0018】第1SCH層42と第4SCH層52は、対になって分離閉じ込めヘテロ構造を形成している。第1SCH層42と第4SCH層52は、同じバンドギャップを有する。具体的には、第1SCH層42と第4SCH層52は、ともに1.05  $\mu\text{m}$ のバンドギャップ波長を有している。

【0019】第2SCH層44と第3SCH層50も、対になって分離閉じ込めヘテロ構造を形成している。第2SCH層44と第3SCH層50は、同じバンドギャップを有する。具体的には、第2SCH層44と第3SCH層50は、ともに1.1  $\mu\text{m}$ のバンドギャップ波長を有している。

【0020】活性層45は、複数のバリア層46および複数の井戸層48が交互に積層された多重量子井戸(MQW)構造を有している。各バリア層46は、1.2  $\mu\text{m}$ のバンドギャップ波長を有し、各井戸層48は、1.

48  $\mu\text{m}$ のバンドギャップ波長を有している。

【0021】MQW-SCH層14は、バンドギャップ波長分布と同様の屈折率分布を有している。すなわち、井戸層48、バリア層46、SCH層44および50、SCH層42および52の順に高い屈折率を有している。第2SCH層44と第3SCH層50は同じ屈折率を有する。また、第1SCH層42と第4SCH層52は同じ屈折率を有する。このような屈折率分布により、活性層45で生じた光は、MQW-SCH層14内に良好に閉じ込められる。

【0022】具体的に述べると、各井戸層48は、3.506の屈折率を有している。各バリア層46は、3.312の屈折率を有している。第2SCH層44および第3SCH層50は、それぞれ3.244の屈折率を有している。第1SCH層42および第4SCH層52は、それぞれ3.206の屈折率を有している。下部クラッド層12および第1上部クラッド層16は、それぞれ3.100の屈折率を有している。

【0023】このようなバンドギャップ波長分布と屈折率分布は、InGaAsPの組成を調整することにより実現できる。

【0024】以下では、図3および図4を参照しながら、半導体レーザ素子100の構造について更に説明する。図3は、図1の3-3線に沿った、半導体レーザ素子100の縦断面図である。図4は、図3の4-4線に沿った、半導体レーザ素子100の平面断面図である。

【0025】半導体レーザ素子100の前端面32には、活性層45で発生した光に対する反射率が結晶へき開面より小さくなるように、AR (Anti-Reflection: 無反射) コートが施されている。本実施形態では、前端面32の反射率 (AR反射率) は0.5%である。半導体レーザ素子100の後端面34には、活性層で発生した光に対する反射率が結晶へき開面より大きくなるように、HR (High Reflection: 高反射) コートが施されている。本実施形態では、後端面34の反射率 (HR反射率) は90%である。半導体レーザ素子100で生成されたレーザ光は、矢印60で示されるように、前端面32から出射する。

【0026】MQW-SCH層14と第1上部クラッド層16との界面 (より具体的には、第4SCH層52と第1上部クラッド層16との界面) には、回折格子36が設けられている。回折格子36は、第4SCH層52の上面に設けられた正弦波形状の構造である。図4に示されるように、回折格子36の形状は、水平方向 (図1のy方向) に沿って一様である。

【0027】回折格子36は、活性層45の長さの一部分のみに沿って形成されている。回折格子36は、前端面32の付近にのみ設けられている。したがって、回折格子36は、後端面34から離間している。回折格子36は、前端面32に隣接している。回折格子36の長さ

は300  $\mu\text{m}$ であり、活性層45の全長は900  $\mu\text{m}$ である。つまり、回折格子36は、活性層45の長さの1/3のみに沿って設けられている。

【0028】また、回折格子36は、均一の深さ (図3の符号a) を有している。本実施形態では、回折格子36の深さa (回折格子36の最上部と最下部との距離) は300  $\text{\AA}$ である。

【0029】回折格子36は、いわゆるチャープ回折格子である。つまり、回折格子36の周期 (図3の符号 $\Lambda$ ) は、回折格子36の長手方向、すなわち縦方向 (図1のz方向) に沿って連続的に変化する。したがって、回折格子36の回折波長 (ブラッグ反射波長) も長手方向に沿って連続的に変化する。なお、周期変化が連続的であるという点で、回折格子36は、位相シフト回折格子とは異なる。

【0030】半導体レーザ素子100の動作時には、回折格子36の長手方向の各部位と後端面34との間で帰還が生じる。つまり、回折格子36と後端面34とによって共振器が形成される。回折格子36のうち位相条件を満たす部位だけが正帰還を生じさせる。この場合、レーザ発振が起こる。回折格子36の周期の変化範囲が広ければ、複数の波長で正帰還が生じうる。周期の変化範囲が十分に広ければ、複数の縦モードが発振しうる。したがって、マルチモード発振を達成できる。

【0031】回折格子36は、レーザ素子100の発振波長範囲において、前端面32よりも高い反射率を有している。発振波長範囲とは、レーザ素子100の発光スペクトラムに含まれる複数の縦モードの包絡線の波長範囲である。したがって、回折格子36は、発振する各縦モードの波長に対して、前端面32よりも高い反射率を有している。これにより、キンクの発生が防止される。この点については、後述する。

【0032】再び図2を参照し、MQW-SCH層14を構成する各層の寸法について説明する。第1および第2SCH層42、44の厚さは、それぞれ150  $\text{\AA}$ である。各バリア層46の厚さは100  $\text{\AA}$ であり、各井戸層48の厚さは50  $\text{\AA}$ である。第3SCH層50の厚さは150  $\text{\AA}$ であり、第4SCH層52の基本厚は100  $\text{\AA}$ である。上述のように、第4SCH層52の上面には、回折格子36が設けられている。したがって、第4SCH層52の厚さは縦方向 (z方向) に沿って周期的に変動する。本明細書において「基本厚」は、第4SCH層52のうち回折格子36を除いた部分の厚さをいう。これは、第4SCH層52の下面から回折格子36の最下部 (最深部) までの距離に当たる。基本厚は、縦方向の位置によらず一定である。基本厚をd、回折格子36の深さをaとすると、第4SCH層52の厚さは、縦方向に沿ってdとd+aの間で周期的に変動する。

【0033】活性層45の幅を調整すると、横モードを単一にできる。横方向のシングルモード化のためには、

活性層45の幅は約1〜約5 $\mu\text{m}$ であることが好ましい。本実施形態では、活性層45の幅は約4 $\mu\text{m}$ である。横モードが単一であると、ファーフールドパターン(FFP)が安定するので、半導体レーザ素子100と光ファイバと結合が容易になる。これは、半導体レーザ素子100をラマンアンプの励起光源として使用するうえで有益である。

【0034】上部電極層28および下部電極層30を介して半導体レーザ素子100に順方向電圧を印加すると、半導体レーザ素子100はレーザ発振をする。レーザ発振の原理は、DFBレーザと同様である。すなわち、回折格子36がレーザ共振器として機能することにより誘導放出が促され、レーザ発振が起こる。

【0035】図5は、半導体レーザ素子100の発光スペクトラムを示している。図5に示されるように、半導体レーザ素子100はマルチモード発振(縦多モード発振)する。これは、上述のように、回折格子36の周期が一定でないことに起因する。

【0036】なお、本発明の半導体レーザ素子の発光スペクトラムに含まれる縦モードの数は任意であり、特に上限を定める必要はない。また、発光スペクトラム幅は、約10nm以下であることが好ましい。ここで、「発光スペクトラム幅」は、発光スペクトラムに含まれる複数の縦モードの包絡線の幅を指す。

【0037】半導体レーザ素子100の発振波長は、回折格子36の周期変化の範囲に応じて、ほぼ決まる。したがって、周期変化の範囲を調整することにより、発光スペクトラムの広がりや自由を制御できる。このため、周期変化の範囲を適切に設定すれば、十分に狭い発光スペクトラム幅が得られる。

【0038】半導体レーザ素子100は、ラマンアンプの順方向励起光源として好適に使用できる。これには、四つの理由がある。第1に、半導体レーザ素子100のレーザ光は光ファイバ内で散乱しにくい。これは、半導体レーザ素子100がマルチモード発振するからである。第2に、半導体レーザ素子100は、外部ファイバブラッググレーティング共振器型レーザに比べて、相対雑音強度(RIN)が小さい。これは、半導体レーザ素子100は内部共振器型であるため、共振器内に外乱が入り込みにくいからである。第3に、半導体レーザ素子100は優れた波長安定性を有する。半導体レーザ素子100のレーザ発振波長は、回折格子36の周期によって実質的に定まる。したがって、既存のDFBレーザと同様に、波長の電流依存性・温度依存性が小さい。第4に、半導体レーザ素子100は、ラマンアンプの順方向励起光源として十分に狭い発光スペクトラム幅を有することができる。狭い発光スペクトラム幅は、回折格子36の周期変化の範囲を適切に設定することにより得られる。

【0039】また、半導体レーザ素子100は、キンク

を生じさせないという利点も有している。これは、発振する縦モードの波長に対して、回折格子36が前端面32よりも高い反射率を有しているからである。以下では、この点について説明する。

【0040】回折格子36および後端面34間の共振により生じるモードを、DFBモードと呼ぶことにする。このDFBモードのほかに、前端面32および後端面34間での共振により発生するモードもある。これがファブリペローモード(FPモード)である。DFBモードとFPモードが同程度の強度を有していると、モード競合によってキンクが発生する。

【0041】回折格子36は、発振する縦モードの波長に対して、前端面32よりも高い反射率を有している。このため、FPモードの強度はDFBモードの強度よりも十分に低くなる。したがって、モード競合を防ぎ、それによってキンクも防ぐことができる。

【0042】レーザ素子100には、次のような利点もある。レーザ素子100では、回折格子を設ける位置が活性層上の一部分に限定されているので、均質で歩留りの良い回折格子を作りやすい。

【0043】レーザ素子100には、高い光出力を達成しやすいという利点もある。これは、回折格子36が後端面34に隣接せず、前端面32に隣接しているからである。回折格子をレーザ素子の後端面に隣接させて設けると、共振器長が短くなるので、十分な利得を得にくい。共振器長は、後端面と回折格子の先端(後端面から遠い方の端)との間の距離である。したがって、回折格子の長さが一定であれば、回折格子が後端面に近いほど、共振器長は短くなる。逆に、回折格子を前端面に近づけるほど、共振器長が長くなるので、高い光出力を得やすい。

【0044】なお、回折格子36と前端面32は、離間させる必要がない。前端面32の反射率は低いので、回折格子36の前端面32での位相は、DFBモード間のしきい値利得差にあまり影響を与えないからである。

【0045】以上、本発明をその実施形態に基づいて詳細に説明した。しかし、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明は、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変形が可能である。

【0046】

【発明の効果】本発明の半導体レーザ素子は、マルチモード発振するので、光ファイバ内で散乱しにくいレーザ光を発する。また、本発明の半導体レーザ素子は、その内部に設けられた回折格子によってレーザ共振器が構成されているので、RINが低く、波長安定性に優れる。また、回折格子の周期変化の範囲を適切に設定すれば、十分に狭い発光スペクトラム幅が得られる。したがって、本発明の半導体レーザ素子は、ラマンアンプの順方向励起光源として好適に使用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態の半導体レーザ素子100の構造を示す斜視図である。

【図2】MQW-SCH層14のバンドギャップ波長の分布を示す図である。

【図3】半導体レーザ素子100の縦断面図である。

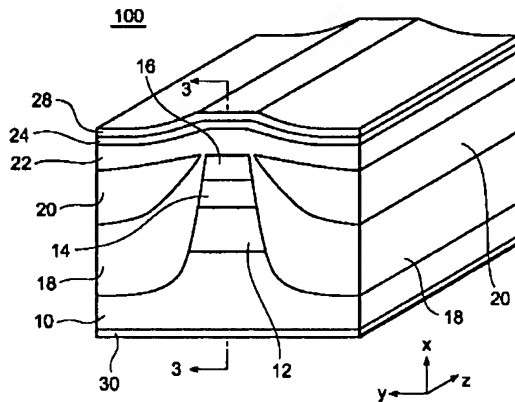
【図4】半導体レーザ素子100の平面断面図である。

【図5】半導体レーザ素子100の発光スペクトラムを示す図である。

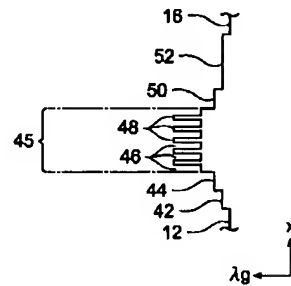
【符号の説明】

\* 10…基板、12…下部クラッド層、14…MQW-SCH層、16…第1上部クラッド層、18…埋め込み層、20…電流ブロック層、22…第2上部クラッド層、24…コンタクト層、28…上部電極層、30…下部電極層、32…前端面、34…後端面、36…回折格子、42…第1SCH層、44…第2SCH層、45…活性層、46…バリア層、48…井戸層、50…第3SCH層、52…第4SCH層、100…半導体レーザ素子。

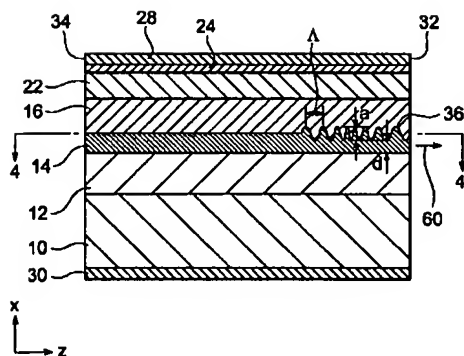
【図1】



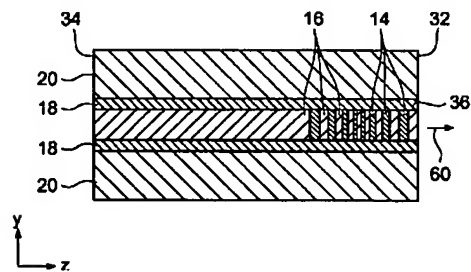
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

